

**MIPRO 2008**

**Okrugli stol:**

**Strategija uvođenja digitalne televizije**

---

**Tehničke značajke sustava za  
zemaljsku radiodifuziju digitalnog  
videosignala (DVB T)**

*prof.dr.sc. Sonja Grgić*

*Sveučilište u Zagrebu*

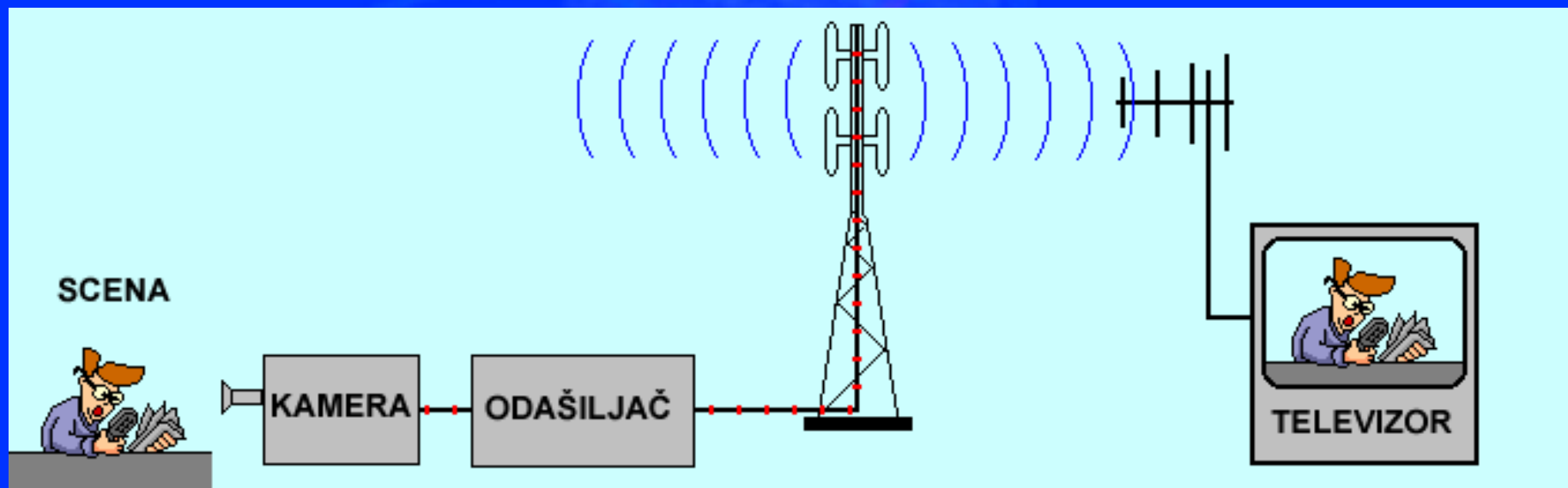
*Fakultet elektrotehnike i računarstva*

# Radiodifuzija televizijskog signala

- radiodifuzija (*broadcasting*)
  - oblik neusmjerenih komunikacija pomoću radijskih ili kabelskih mreža, namijenjenih velikom broju korisnika koji ispunjavaju određene prijamne uvjete
  - radiokomunikacijska usluga odašiljanja radijskih ili televizijskih programa za izravni javni prijam
- u sustave za radiodifuziju pripadaju
  - mreže za zemaljsku radiodifuziju
  - mreže za satelitsku radiodifuziju (satelitska televizija)
  - kabelski distribucijski sustavi (kabelska televizija)
- sustavi za zemaljsku radiodifuziju
  - kao prijenosni medij rabe elektromagnetske valove u frekvencijskim pojasevima određenim za radiodifuziju, koji se šire u slobodnom prostoru

# Radiodifuzija televizijskog signala

- radiodifuzijski sustav
  - odašiljač
  - prijenosni medij
  - prijamnik



# Radiodifuzija televizijskog signala

- za odašiljanje TV signala mrežom zemaljskih odašiljača (radijska služba radiodifuzije televizijskog signala) rabe se četiri frekvencijska pojasa
  - 47 – 68 MHz - VHF I (*Very High Frequency*)
  - 174 – 230 MHz - VHF III
  - 470 – 582 - UHF IV (*Ultra High Frequency*)
  - 582 – 862 MHz - UHF V
- svi kanali nisu uvijek raspoloživi za radiodifuziju televizijskog signala jer ih mogu koristiti i druge službe (npr. T-DAB)

# Radiodifuzija televizijskog signala

- raspored televizijskih kanala za zemaljsku radiodifuziju televizijskih programa u Republici Hrvatskoj propisuje Pravilnik o tehničkim uvjetima i uvjetima uporabe radijskih postaja za odašiljanje televizijskog programa u frekvencijskim područjima I, III i IV/V  
(Narodne novine br. 66 od 10. kolovoza 1996. godine)
  - širina kanala: 7 MHz u području VHF, 8 MHz u području UHF
  - VHF I - 3 kanala
  - VHF III - 8 kanala
  - UHF - 49 kanala
  - ukupno: 60 kanala

# Radiodifuzija televizijskog signala

- nedostaci analognog radiodifuzijskog sustava
  - osjetljivost na šum, izobličenja i interferenciju s drugim signalima
    - visoki istokanalni zaštitni omjeri
    - isti kanal smije se rabiti na udaljenim lokacijama
  - niska djelotvornost u iskorištenju radiofrekvencijskog spektra
    - teorijski se na određenom području može distribuirati 5-7 programa poštujući zaštitne omjere radi izbjegavanja interferencije
      - djelotvornost: 8,33-11,67% u odnosu na ukupan broj kanala (60)
    - Europske zemlje: 2-4 programa na nacionalnoj razini + nekoliko programa na regionalnoj i lokalnoj razini
    - intenzivnija uporaba radiofrekvencijskog spektra namijenjenog radiodifuziji ima za posljedicu opadanje kvalitete prijamnog televizijskog signala zbog interferencije

# Razvoj digitalne radiodifuzije

- 1993. godine u Europi je započeo rad na Projektu za radiodifuziju digitalnog videosignala (DVB, *Digital Video Broadcasting*)
  - cilj: razvoj specifikacija za prijenos MPEG-2 prijenosnog toka podataka\* putem radiodifuzijskih sustava
- DVB projekt je rezultirao u ETSI normama za radiodifuziju
  - satelitski sustav (DVB-S, *DVB-Satellite*), 1994.
    - ETSI EN 300 421: *Digital Video Broadcasting; Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services*
  - sustav kabelaške televizije (DVB-C, *DVB-Cable*), 1994.
    - ETSI EN 300 429: *Digital Video Broadcasting; Framing structure, channel coding and modulation for cable systems*
  - sustav za zemaljsku radiodifuziju (DVB-T, *DVB-Terrestrial*), 1996.
    - ETSI EN 300 744: *Digital Video Broadcasting; Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television*

\*ISO/IEC IS 13818-1: "Information Technology -Generic Coding of Moving Pictures and Associated Audio Information: Systems"

# Razvoj digitalne radiodifuzije

- DVB projekt nastavlja sa svojim radom
  - utvrđene su specifikacije za sustav DVB-H (*DVB-Handheld*)
    - ETSI EN 302 304: *Digital Video Broadcasting (DVB); Transmission System for Handheld Terminals (DVB-H)*, 2004.
  - utvrđene su specifikacije za drugu generaciju sustava za radiodifuziju DTV signala putem satelita, tzv. DVB-S2 (ETSI EN 302 307, 2004.)
  - izmijenjena je ETSI tehnička specifikacija TS 101 154
    - ETSI TS 101 154: *Digital Video Broadcasting (DVB); Specification for the use of Video and Audio Coding in Broadcasting Applications based on the MPEG-2 Transport Stream*, 2007.
    - formati kodiranja videosignala: MPEG-2, H.264/AVC, VC-1
      - MPEG-2  
ITU-T Recommendation H.262 / ISO/IEC 13818-2: *Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information: Video*
      - H.264/AVC  
ITU-T Recommendation H.264 / ISO/IEC 14496-10:2005: *Information technology - Coding of audio-visual objects - Part 10: Advanced Video Coding*
      - VC-1  
SMPTE 421M: *VC-1 Compressed Video Bitstream Format and Decoding Process*
  - radi se na razvoju specifikacije za sustav DVB-T2



# Razvoj digitalne radiodifuzije

- **Chesterski sporazum**
  - multilateralni koordinacijski sporazum potpisan 1997. godine u Chesteru (32 europske zemlje)
  - koordinacijski sporazum koji definira tehničke parametre i načela frekvencijskog planiranja za uvođenje DVB-T sustava
- **Regionalna radiokomunikacijska konferencija (RRC-06)**
  - održana 2006. godine u Ženevi
  - utvrđen novi frekvencijski plan za digitalnu televiziju i radio
    - plan za Hrvatsku sadrži 7 nacionalnih pokrivanja u UHF IV/V i 1 nacionalno pokrivanje u VHF III te lokalna i regionalna pokrivanja za DTV
    - plan sadrži 3 nacionalna pokrivanja u VHF III za digitalni radio
  - prestao vrijediti Frekvencijski plan za analognu televiziju utvrđen na Europskoj VHF/UHF radiodifuzijskoj konferenciji 1961. u Stockholmu
- **prestanak rada analognih TV odašiljača u zemljama EU planiran je za 2012. godinu**

# Značajke digitalne radiodifuzije

- značajke digitalnog radiodifuzijskog sustava (*pros*)
  - bolje iskorištenje radiofrekvencijskog spektra
    - unutar jednog TV kanala može se prenositi 5-10 SDTV programa (ovisno o postupku kompresije videosignala)
    - jednofrekvencijske mreže (SFN, *Single Frequency Network*)
      - moguć je rad susjednih odašiljača na istoj frekvenciji
  - signal je otporan na šum i interferenciju
    - rabe se postupci za otkrivanje i ispravljanje pogrešaka kojima se postiže vjerojatnost pogreške manja od  $10^{-9}$
  - ušteda energije
    - za jednako pokrivanje kao u analognom radiodifuzijskom sustavu, potrebne su manje snage odašiljača
  - omogućen je prijam na mobilnim prijamnicima (vlak, autobus)
  - omogućeno je povezivanje s mobilnim komunikacijskim sustavima i prijam videosignala na dlanovnicima (DVB-H, *DVB Handheld*)
  - omogućeno je uvođenje interaktivnih multimedijских usluga

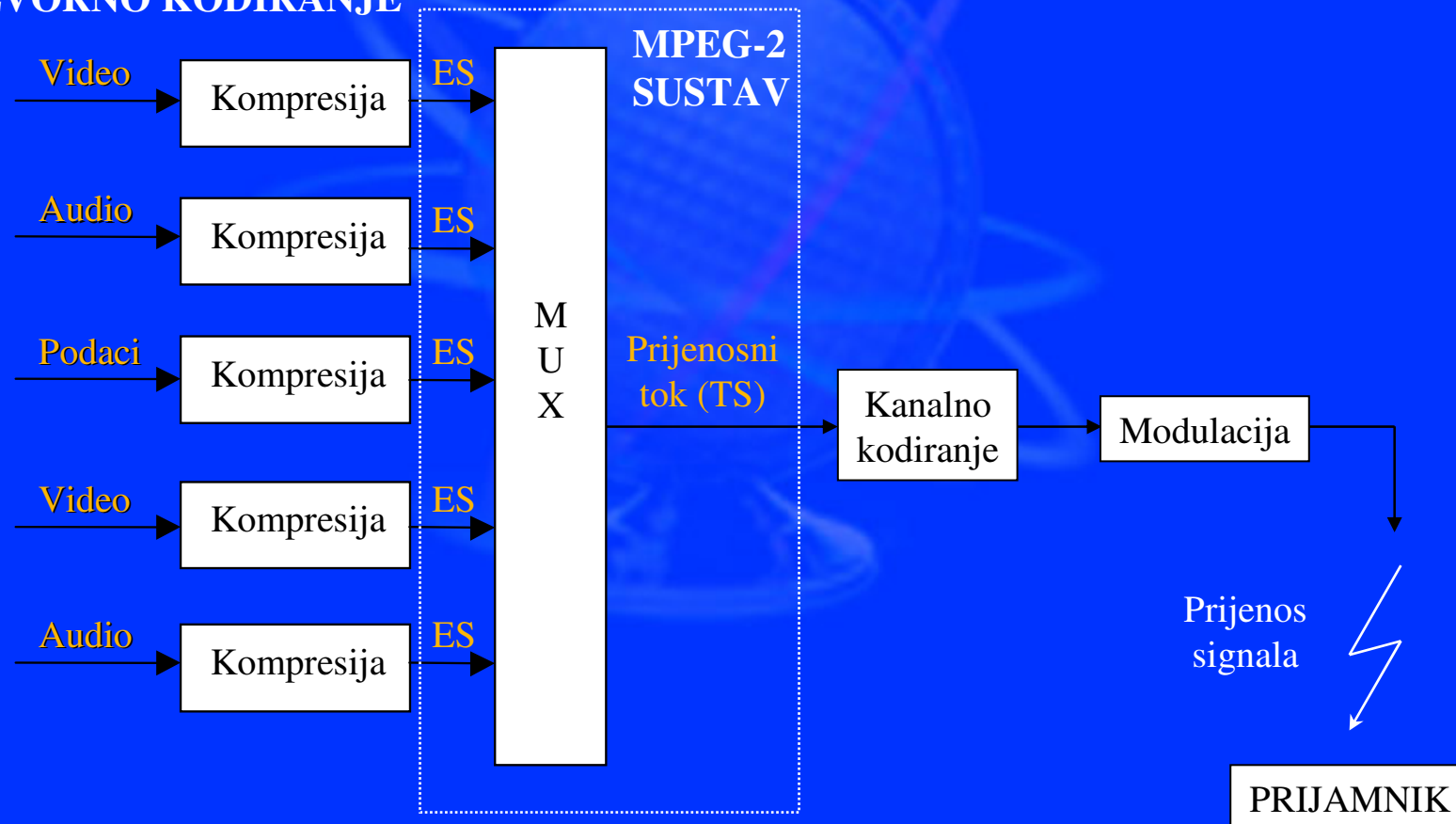
# Značajke digitalne radiodifuzije

- značajke digitalnog radiodifuzijskog sustava (*contra*)
  - sustav nije kompatibilan s analognim radiodifuzijskim sustavom
    - za prijam je potreban poseban DVB-T prijamnik (*set-top box*), koji se spaja na postojeći televizor, ili televizor treba imati integriran DVB-T prijamnik
    - postoje različite inačice DVB-T prijarnika, čija izvedba ovisi o podržanim postupcima dekodiranja videosignala (MPEG-2 i H.264/MPEG-4 AVC)
  - sustav je složeniji od sustava analogne televizije
  - u prijenosu TV signala od odašiljačke do prijamne strane može se pojaviti zamjetno kašnjenje (800 ms do 3 s)
  - mjerenje kvalitete signala ne može se provesti mjernim postupcima koji su usvojeni za analognu televiziju
    - kvaliteta slike na prijamnoj strani ovisi o sadržaju slike i parametrima kompresije
  - krajnji korisnik ne vidi razliku u kvaliteti slike u odnosu na analognu televiziju (uz uvjet optimalnih prijamnih uvjeta u oba sustava)
  - period istodobnog rada analognog i digitalnog sustava (*simulcast*) izaziva poteškoće u frekvencijskom planiranju

# Značajke sustava DVB-T

Blok-shema sustava za radiodifuziju DTV signala

## IZVORNO KODIRANJE



# Značajke sustava DVB-T

- ulazni videosignal
  - SDTV ili HDTV (*High Definition Television*)
- izvorno kodiranje
  - postupak smanjenja brzine prijenosa podataka
  - MPEG-2, H.264/AVC, VC-1
- multipleksiranje i formiranje prijenosnog toka
  - MPEG-2 sustav (ISO/IEC IS 13818-1)
- kanalno kodiranje
  - osigurava zaštitu od pogreške dodavanjem redundancije
- modulacija
  - frekvencijski multipleks kodiranih ortogonalnih podnositelja (COFDM, *Coded Orthogonal Frequency Division Multiplex*)
    - rabi se veliki broj frekvencijski bliskih podnositelja (2k ili 8k), pri čemu pojedini podnositelji mogu biti modulirani QPSK, 16-QAM ili 64-QAM
    - COFDM je postupak u kome sjedinjeni postupci zaštitnog kodiranja radi ispravljanja pogrešaka i OFDM-a

# Izvorno kodiranje

- SDTV

Sustav	Parametri	Ukupan broj Y uzoraka u liniji	Ukupan broj linija u slici	Ukupna brzina prijenosa (4:2:2, n=10)	Netto brzina prijenosa (4:2:2, n=10)
SDTV	720x576/I/25	864	625	270 Mbit/s	207,36 Mbit/s

- HDTV (EBU Tech 3299: High Definition (HD) Image Formats for Television Production)

Sustav	Parametri	Ukupan broj Y uzoraka u liniji	Ukupan broj linija u slici	Ukupna brzina prijenosa (4:2:2, n=10)	Netto brzina prijenosa (4:2:2, n=10)
S1	1280x720/P/50	1980	750	1,485 Gbit/s	921,6 Mbit/s
S2	1920x1080/I/25	2640	1125	1,485 Gbit/s	1036,8 Mbit/s
S3	1920x1080/P/25	2640	1125	1,485 Gbit/s	1036,8 Mbit/s
S4	1920x1080/P/50	2640	1125	2,970 Gbit/s	2073,6 Mbit/s

P - progresivno analiziranje

I - analiziranje s proredom (*interlaced*)

Y - luminantni signal

# Izvorno kodiranje

- četiri generacije HDTV sustava
  - nulta generacija
    - analogni HDTV sustavi (NHK 1125/I/30, MUSE)
  - prva generacija
    - formati slike: 1280x720/P/50, 1920x1080/I/25 uz MPEG-2
    - rabi se u sustavima DVB-S i ATSC (*Advanced Television System Committee*)
  - druga generacija
    - formati slike: 1280x720/P/50, 1920x1080/I/25 uz H.264/AVC
    - rabi se u sustavima DVB-S2 i DVB-T
  - treća generacija
    - formati slike: 1920x1080/P/50, H.264/AVC kompresija
    - budući sustavi

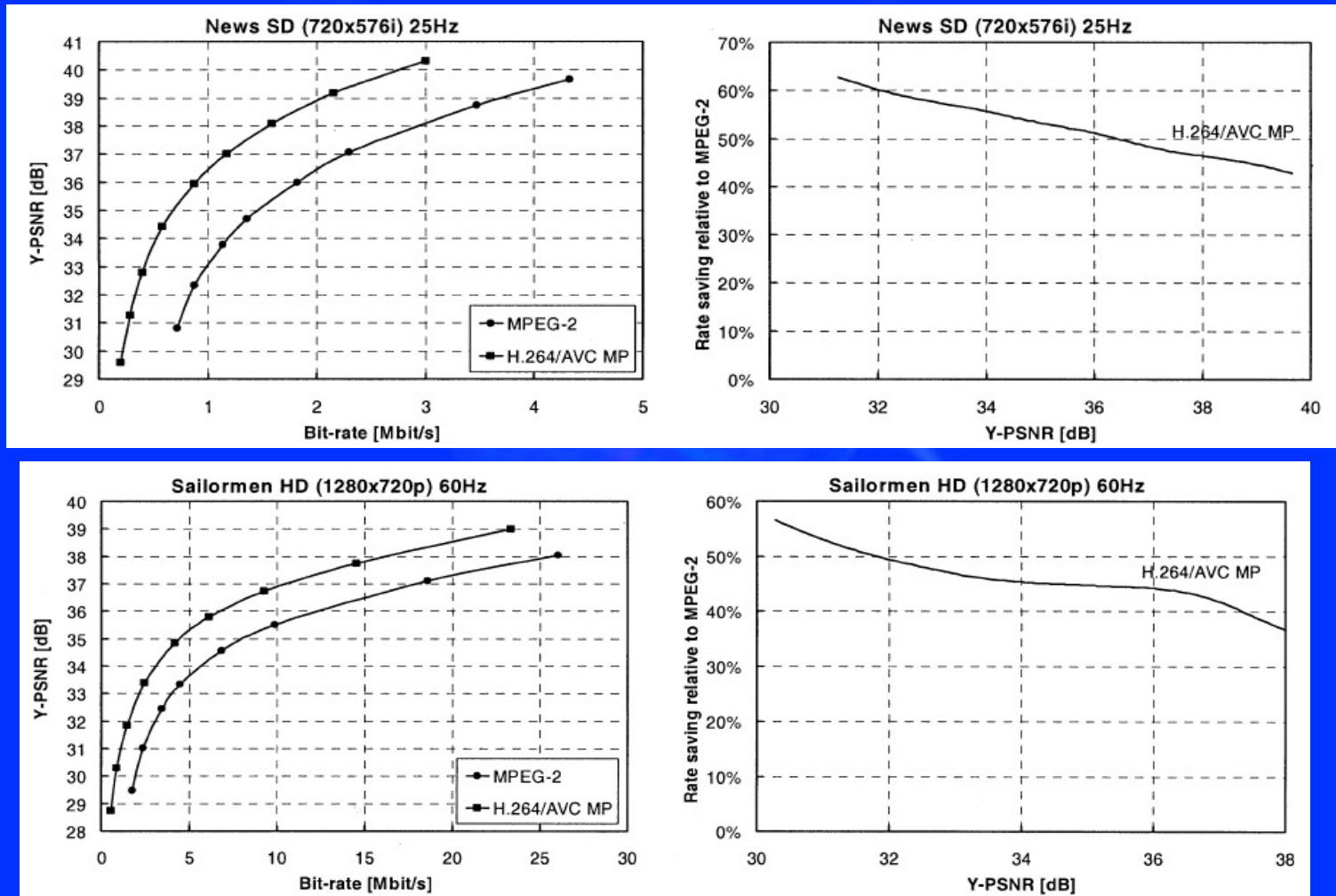
# Izvorno kodiranje

- prednosti H.264/AVC u odnosu na MPEG-2
  - povećana djelotvornost kodiranja (*coding efficiency*)
    - poboljšano nadomještanje pokreta
      - promjenjiva veličina i oblik blokova
      - točnost procjene vektora pokreta (1/4 u odnosu na 1/2 u MPEG-2 normi)
      - rabi do 5 slika za procjenu pokreta (u odnosu na 2 slike u MPEG-2)
    - smanjenje prostorne redundancije predviđanjem unutar slike
    - uporaba adaptivnog filtra za uklanjanje vidljivosti rubova blokova u slici
    - poboljšani postupci entropijskog kodiranja
  - za postizanje određene kvalitete slike moguće je rabiti dvostruko nižu brzinu prijenosa u odnosu na MPEG-2
    - bolje iskorištenje radiofrekvencijskog spektra (8-10 SDTV programa unutar TV kanala)
    - mogućnost djelotvorne implementacije HDTV (3-4 HDTV programa unutar TV kanala)



# Izvorno kodiranje

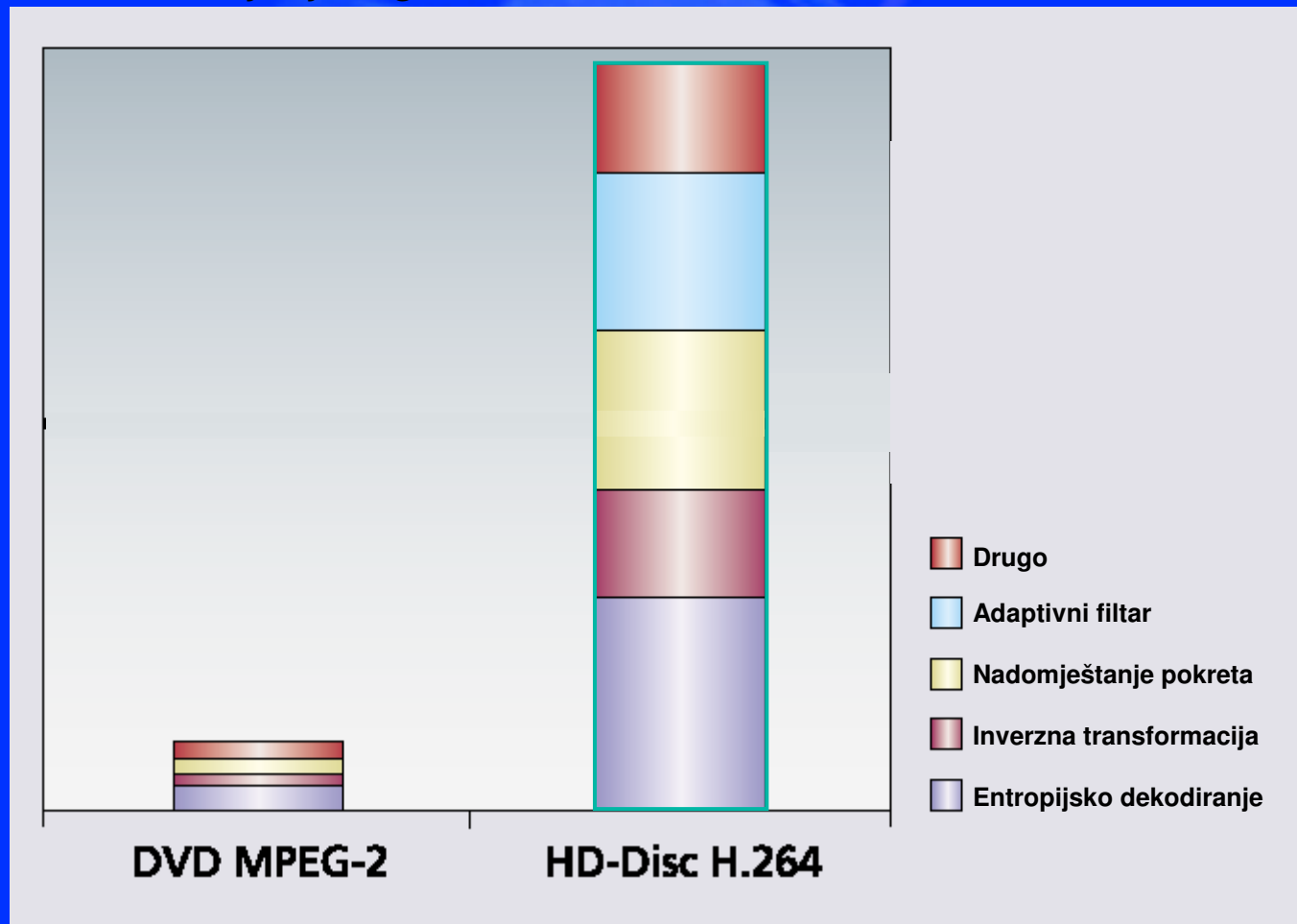
- usporedba MPEG-2 i H.264/AVC - kvaliteta slike



PSNR -Peak Signal to Noise Ratio

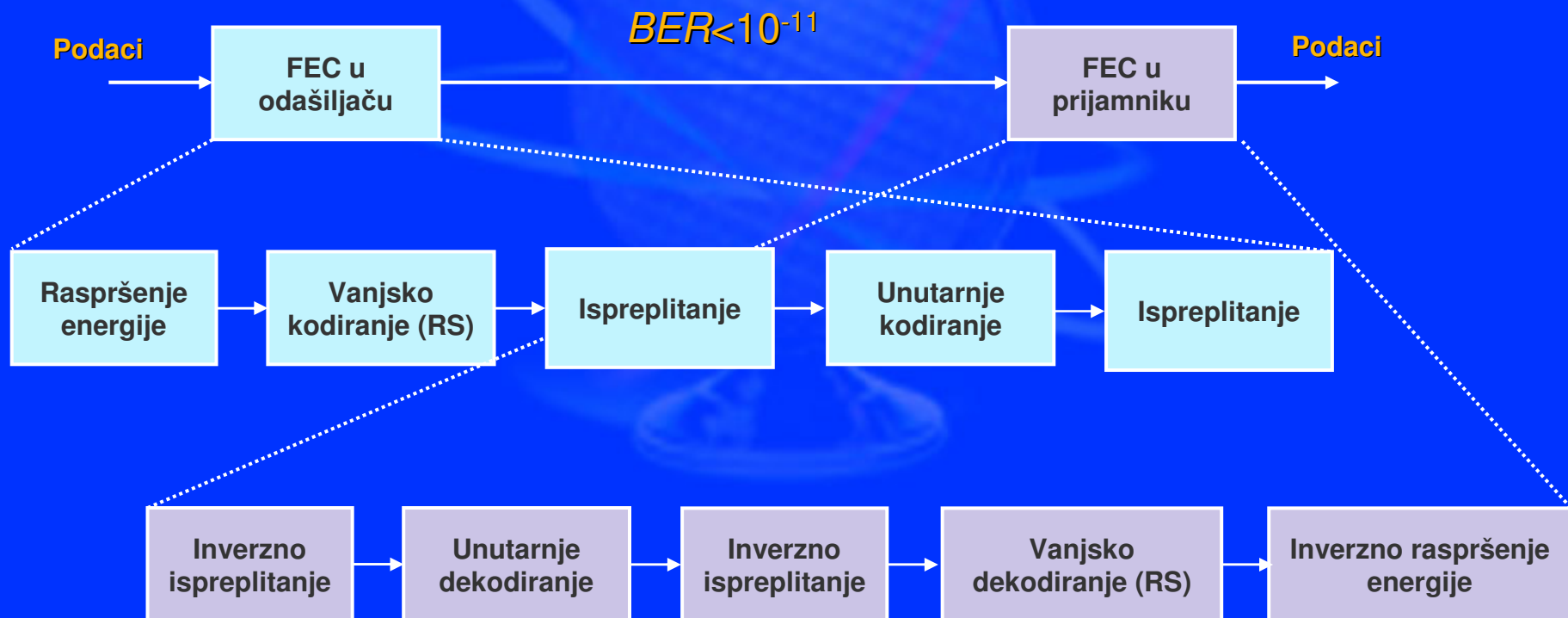
# Izvorno kodiranje

- nedostaci H.264/AVC u odnosu na MPEG-2
  - povećana složenost kodera (do 8 puta) i dekodera (4-5 puta)
  - povećano kašnjenje signala



# Kanalno kodiranje

- unaprijedno ispravljanje pogrešaka (FEC, *Forward Error Correction*)
  - u koderu se u tok podataka uključuju dodatni bitovi (redundancija), koji omogućavaju otkrivanje i ispravljanje pogrešaka u dekoderu u stvarnom vremenu



# Kanalno kodiranje

- vanjsko kodiranje

- rabe se Reed-Solomonovi kodovi (RS)

- na svaki paket prijenosnog toka podataka (TS) koji ima duljinu 188B dodaje se redundancija od 16B (8,5% u odnosu na 188B)

- duljina paketa nakon RS kodiranja iznosi 204 B

- mogu se ispraviti pogreške čija duljina ne prelazi 8B (1/2 redundancije)

- omjer koda (*code rate*) za RS kod ( $R_1$ ) određuje se kao omjer broja bita prije i nakon kodiranja radi zaštite od pogreške

- $R_1 = 188/204 = 0,92$

- unutarnje kodiranje

- služi za ispravljanje slučajnih pogrešaka bita

- $R_2$  - omjer koda za unutarnje kodiranje

- 1/2 (100% redundancije)

- 2/3 (50% redundancije)

- 3/4 (33,33% redundancije)

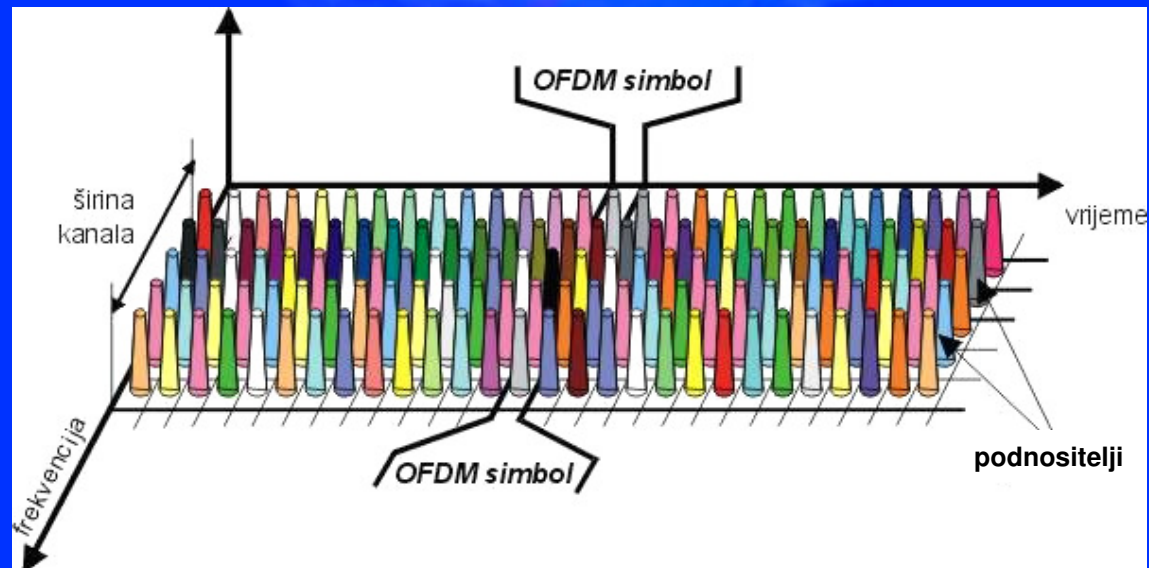
- 5/6 (20% redundancije)

- 7/8 (14% redundancije)

# Modulacija

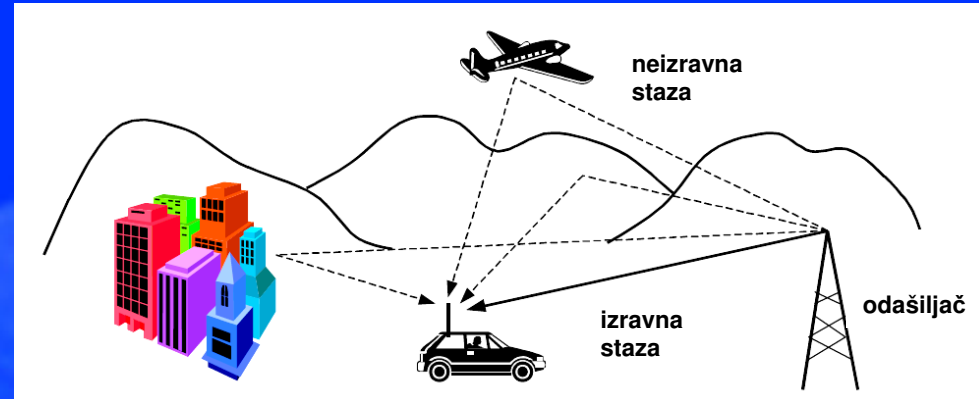
- OFDM

- frekvencijsko područje (kanal) se dijeli u frekvencijske potpojaseve, a vremensko područje u vremenske segmente
- u svakom vremenskom segmentu prenosi se  $K$  podnositelja
- skup podnositelja u jednom vremenskom segmentu čini OFDM simbol
- svaki podnositelj je moduliran s nekoliko bita podataka ( $v$ )
  - broj bita koji prenosi svaki podnositelj ovisi o vrsti modulacijskog postupka

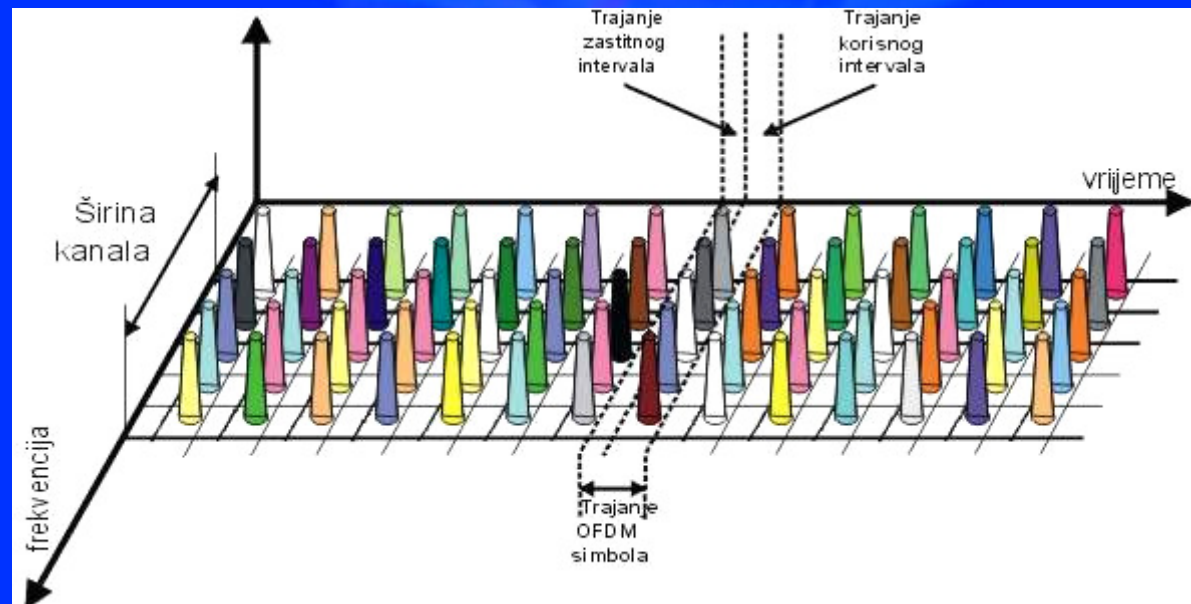


# Modulacija

- kašnjenje primljenog signala, koji je stigao do prijamnika neizravnom stazom, uzrokom je smetnji (višestazno prostiranje)



- nepovoljni učinci kašnjenja pojedinih signala uklanjaju se dodavanjem zaštitnog intervala na početak OFDM-simbola

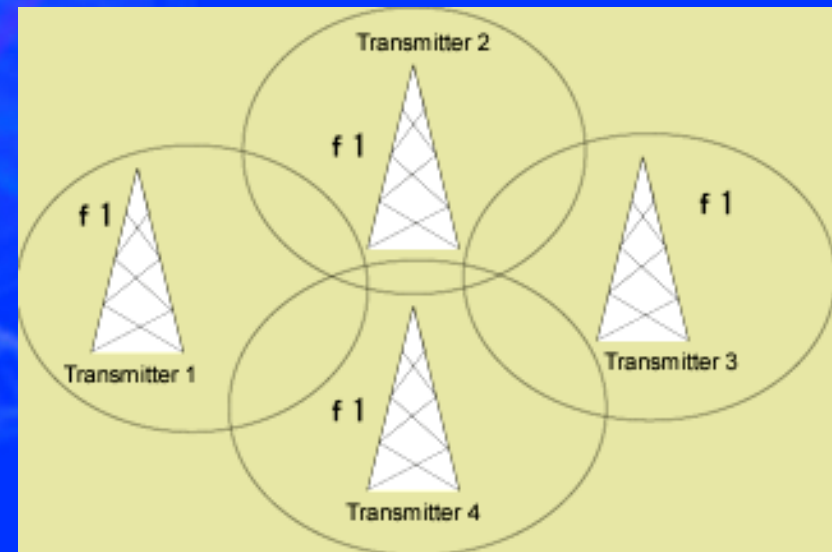


# Modulacija

- značajke OFDM-a
- dobra svojstva u uvjetima izraženoga višestaznog prostiranja
  - kad je najveće kašnjenje signala manje od veličine zaštitnog intervala ne nastaju smetnje zbog višestaznog prostiranja
- povoljne osobine u uvjetima kad su smetnje koncentrirane na uski pojas frekvencija (selektivni *feeding*)
  - «napadnuti» su samo neki od potkanala odnosno mali dio cjelokupnog OFDM-simbola
  - pogreške prijenosa se koncentriraju na određene skupine bitova što čini postupke zaštitnog kodiranja neučinkovitim
    - prije modulacije bitovi se isprepliću (ispremiješaju) po određenom pravilu kako bi se nakon inverznog ispreplitanja u prijamniku postigao slučajni karakter položaja pogrešnih bitova

# Modulacija

- rad mreže odašiljača na jednoj frekvenciji (SFN, *Single Frequency Network*)
  - učinak prijama signala od više odašiljača jednak je učinku prijama signala nastalog višestaznim prostiranjem
  - posljedice dubokih *fedinga* (ako ih ima) dobro se rješavaju metodama zaštitnog kodiranja
  - za ispravni rad SFN-mreže nužno je da svi odašiljači u mreži u svakom trenutku odašilju potpuno jednak signal
  - odašiljači moraju biti sinkronizirani po vremenu i po frekvenciji





# Parametri COFDM za DVB-T

- parametri sustava definirani u normi ETSI EN 300 744
  - način rada: 8k ili 2k
    - 8k sustavi -  $K=6817$  podnositelja
    - 2k sustavi -  $K=1705$  podnositelja
  - korisno trajanje OFDM simbola ( $T_S$ )
    - $T_S=896 \mu\text{s}$  za 8k
    - $T_S=224 \mu\text{s}$  za 2k
  - trajanje zaštitnog intervala ( $T_Z$ )
    - $1/4, 1/8, 1/16, 1/32$  u odnosu na  $T_S$
  - ukupno trajanje simbola -  $T_U=T_S+ T_Z$ 
    - 8k
      - $T_Z=1/4, T_U=1120 \mu\text{s}$
      - $T_Z=1/8, T_U=1008 \mu\text{s}$
      - $T_Z=1/16, T_U=952 \mu\text{s}$
      - $T_Z=1/32, T_U=924 \mu\text{s}$

# Parametri COFDM za DVB-T

- ukupno trajanje simbola -  $T_U$ 
  - $2k$ 
    - $T_Z = 1/4, T_U = 280 \mu s$
    - $T_Z = 1/8, T_U = 252 \mu s$
    - $T_Z = 1/16, T_U = 238 \mu s$
    - $T_Z = 1/32, T_U = 231 \mu s$
- razmak između podnositelja ( $1/T_S$ )
  - 1116 Hz za 8k
  - 4464 Hz za 2k
- razmak između prvog i zadnjeg podnositelja za širinu kanala 8 MHz
  - $(K-1)(1/T_S) = 6816 \times 1116 \text{ Hz} = 1704 \times 4464 \text{ Hz} = 7,61 \text{ MHz}$
- vrsta modulacije
  - QPSK, 16-QAM, 64-QAM
- omjer koda za unutarnje kodiranje
  - $1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8$
- širina kanala
  - 7/8 MHz

# Parametri COFDM za DVB-T

- kapacitet sustava

- ukupna brzina prijenosa (*brutto bit rate*)

- $(K \cdot v) / T_U$  [Mbit/s]

- $K=1705$  ili  $6817$

- korisna brzina prijenosa (*useful bit rate*)

- $(R_1 \cdot R_2 \cdot M \cdot v) / T_U$  [Mbit/s]

- $R_1 = 0,92$ ,  $R_2 = 1/2, 2/3, 3/4, 5/6$  ili  $7/8$

- $M=K$ -broj pilotskih signala

- $v = 2, 4$  ili  $6$

- $M = 1512$  ili  $6048$

- $T_U = T_S + T_Z$

- npr. sustav: 8k ( $K=6817$  podnositelja,  $M=6048$ ), modulacija: 64 QAM ( $v = 6$  bita), zaštitni interval:  $1/4$  ( $T_U = 1120 \mu\text{s}$ ),  $R_1 = 0,92$ ,  $R_2 = 1/2$

- ukupna brzina prijenosa =  $6817 \cdot 6 / 1120 \mu\text{s} = 36,52$  Mbit/s

- korisna brzina prijenosa =  $6048 \cdot 6 \cdot 0,92 \cdot 0,5 / 1120 \mu\text{s} = 14,93$  Mbit/s

# Parametri COFDM za DVB-T

- korisna brzina prijenosa u Mbit/s
  - jednaka je 2k i 8k sustave
  - smanjenjem zaštitnog intervala i povećanjem omjera koda povećava se korisna brzina prijenosa

Modulacija	Omjer koda	Zaštitni interval			
		1/4	1/8	1/16	1/32
QPSK	1/2	4,98	5,53	5,85	6,03
	2/3	6,64	7,37	7,81	8,04
	3/4	7,46	8,29	8,78	9,05
	5/6	8,29	9,22	9,76	10,05
	7/8	8,71	9,68	10,25	10,56
16-QAM	1/2	9,95	11,06	11,71	12,06
	2/3	13,27	14,75	15,61	16,09
	3/4	14,93	16,59	17,56	18,10
	5/6	16,59	18,43	19,52	20,11
	7/8	17,42	19,35	20,49	21,11
64-QAM	1/2	14,93	16,59	17,56	18,10
	2/3	19,91	22,12	23,42	24,13
	3/4	22,39	24,88	26,35	27,14
	5/6	24,88	27,65	29,27	30,16
	7/8	26,13	29,03	30,74	31,67

# Kvaliteta slike

- kvaliteta slike u analognom sustavu za različite vrijednosti parametra  $S/N$  (omjer signal/šum)



$S/N=45$  dB



$S/N=35$  dB



$S/N=20$  dB

# Kvaliteta slike

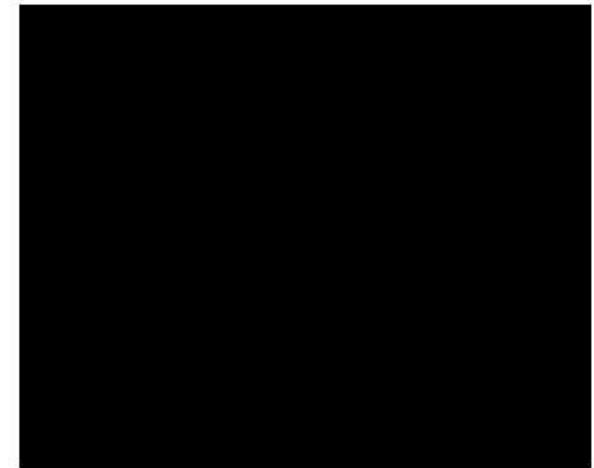
- kvaliteta slike u digitalnom sustavu za različite vrijednosti parametra MER (vjerojatnost pogreške modulacije)



MER=35 dB



MER=24 dB



MER=23 dB